



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO AO  
LONGO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE  
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

DALILA RAMOS DE ALMEIDA

Brasília

Julho de 2018

DALILA RAMOS DE ALMEIDA

**DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO AO  
LONGO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE  
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Agronomia e Medicina Veterinária da  
Universidade de Brasília, como parte das  
exigências do curso de Graduação em  
Agronomia, para a obtenção do título de  
Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Eiyti Kato

Brasília

Julho de 2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

ALMEIDA, Dalila Ramos de.

Densidade do solo e resistência à penetração ao longo da implantação de um sistema integrado de produção agropecuária / Dalila Ramos de Almeida. Orientador: Eiyti Kato, Brasília, 2018. Monografia – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2018, 37 p.: il.

1. Compactação do solo. 2. Indicadores de qualidade física. 3. Sistemas de integração.

I. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária / Universidade de Brasília. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, D. R. **Densidade do solo e resistência à penetração ao longo da implantação de um sistema integrado de produção agropecuária**. 2018. 37 p. Monografia - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Dalila Ramos de Almeida

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO: Densidade do solo e resistência à penetração ao longo da implantação de um sistema integrado de produção agropecuária.

GRAU: 3º ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Almeida, Dalila Ramos de

Email: dalilaramos23@gmail.com

DALILA RAMOS DE ALMEIDA

**DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO AO LONGO DA  
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovado em 09 de Julho de 2018

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Eiyti Kato  
eiytikato@gmail.com  
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília  
Orientador

---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Thais Rodrigues Coser  
thacoser@gmail.com  
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília  
Examinadora

---

Eng. Agr. Túlio Nascimento Moreira  
tnm14.moreira@gmail.com  
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília  
Examinador

Aos meus pais, esposo e amigos, pelo apoio, estímulo e compressão.

Em memória do meu amado avô Vicente Rodrigues de Almeida, no qual amei e fui amada.

Dedico...

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Senhor Nosso Deus, porque sem Ele não chegaria até aqui. Pela capacidade e sabedoria concedida em cada passo e pela fé, esperança e paz no futuro que virá.

Aos meus pais Deusli Soares De Almeida e Maria Jucelma Ramos De Almeida, pelos exemplos de perseverança e fé, que sempre me inspiraram e apoiaram para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

A minha irmã Deuslória Ramos De Almeida Ferreira e cunhado Allef Dos Santos Ferreira, pela amizade, carinho e conselhos.

Ao meu amado esposo João Paulo Buffon, por todo incentivo, carinho, amor e atenção, por estar sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos.

Ao Professor Eiyti Kato, por todo tempo de orientação, pelos ensinamentos, pela paciência, compreensão e apoio.

A minha amiga Aline Pacheco pela amizade, paciência, cumplicidade e por todos os conselhos que tanto me ajudaram a chegar até aqui.

As minhas grandes amigas Tainah Coimbra e Karolline Gomes, com quem vou levar sempre comigo, onde dividi alegrias, tristezas, aprendizados e aventuras durante esses anos.

A Universidade de Brasília, por ser um lugar único, onde amadureci e fiz grandes amigos que levarei para a vida toda. A todos os professores pelos ensinamentos, que contribuíram tanto para o meu crescimento profissional como pessoal. Em especial aos professores Luiz Antônio Borgo, José Ricardo Peixoto, Michelle Souza Vilela, Nara Oliveira e Ana Maria Resende Junqueira pelas oportunidades que me proporcionaram.

Aos funcionários da FAL por todo o auxílio durante o desenvolvimento dos experimentos, em particular ao senhor Queen.

A todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho e da minha graduação.

Agradeço

## SUMÁRIO

|   |            |
|---|------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>  | <b>v</b>   |
| <b>RESUMO.....</b>  | <b>vi</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>vii</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>  | <b>3</b>   |
| 2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO. ....   | 3          |
| 2.2 <i>PANICUM MAXIMUM</i> CV. MASSAI, GLIRICÍDIA ( <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i> ) E<br>MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> ). .... | 5          |
| 2.3 INDICADORES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO. ....  | 6          |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>10</b>  |
| 3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO DA ÁREA.....   | 10         |
| 3.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE SOLO.....   | 12         |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>16</b>  |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>   | <b>20</b>  |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>21</b>  |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 1.</b> Índices de precipitação pluviométrica mensal (mm) e temperatura média mensal do ar (°C) entre 2012 e 2017.....  | 10 |
| <b>FIGURA 2.</b> Consórcio de milho ( <i>Zea Mays</i> ) com a forrageira <i>Panicum maximum</i> cv. Massai e leguminosa gliricídia ( <i>Gliricidia sepium</i> ).....                           | 12 |
| <b>FIGURA 3.</b> Coleta das amostras indeformadas em anel ou cilindro volumétrico utilizando o trado Uhland, camada de 0,00 – 0,10 m (a) e 0,10 – 0,20 m (b).....                              | 13 |
| <b>FIGURA 4.</b> Penetrômetro manual para solos.....   | 14 |
| <b>FIGURA 5.</b> Diagrama de dispersão da resistência à penetração (MPa) em relação a umidade do solo com base em massa seca (%) para cada ano.....  | 17 |
| <b>FIGURA 6.</b> Diagrama de dispersão da resistência à penetração (MPa) e a umidade do solo com base em massa seca (%) com a linha que melhor aproxima a relação entre as duas variáveis..... | 18 |



## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>TABELA 1.</b> Caracterização das propriedades químicas e físicas antes da implantação do experimento..... | 11 |
| <b>TABELA 2.</b> Valores médios da Densidade do solo (Ds) em g cm <sup>-3</sup> .....                        | 16 |
| <b>TABELA 3.</b> Valores médios da Resistência à penetração (Rp) em MPA.....                                 | 17 |

## RESUMO

A introdução do sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) é uma alternativa promissora para a redução das causas da degradação química, física e biológica do solo. Propôs-se, neste trabalho, determinar as alterações de algumas propriedades físicas do solo com a implantação da SIPA. O experimento de campo foi instalado na Fazenda Experimental da Universidade de Brasília, em Brasília/DF. Utilizou-se uma área experimental de 1 ha em parcelas subdivididas, em delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições. As amostragens foram realizadas em 12/2012 – A1, 06/2014 – A2, 12/2015 – A3 e 05/2017 – A4, em três camadas 0,00 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m. A análise da qualidade física do solo deu-se pela densidade do solo (Ds) e resistência à penetração (Rp). Os dados foram submetidos à análise variância, pelo teste de F, ao nível de 5% de probabilidade. As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade. A densidade do solo aumentou nas camadas superficiais 0,00 a 0,10 m e diminuiu nas camadas mais profundas 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, provavelmente resultado da compactação superficial causados pelos implementos agrícolas utilizados no plantio e na introdução do componente arbóreo. Sugere-se que sejam realizadas futuras análises com outros indicadores da qualidade física do solo, com o efeito da implantação ao longo dos anos e a relação entre eles. A resistência à penetração apresentou relação inversa com a umidade. A resistência à penetração demonstrou, aparentemente que foi mais sensível na identificação da compactação do solo que a densidade do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compactação do solo, indicadores de qualidade física, sistema de integração.

## **ABSTRACT**

The introduction of the Integrated Agricultural Production System (SIPA) is a promising alternative for reducing the causes of chemical, physical and biological soil degradation. It was proposed, in this work, to determine the changes of some physical properties of the soil with the implantation of the SIPA. The field experiment was installed at the Experimental Farm of the University of Brasília, in Brasília / DF. An experimental area of 1 ha was used in subdivided plots, in a randomized block design, with five replications. Samples were taken in 12/2012 - A1, 06/2014 - A2, 12/2015 - A3 and 05/2017 - A4, in three layers 0.00 to 0.10, 0.10 to 0.20 and 0, 20 to 0.40 m. The soil physical quality analysis was based on soil density (Ds) and resistance to penetration (Rp). The data were submitted to analysis of variance by the F test at the 5% probability level. The means were grouped by the Scott-Knott test (1974) at the 5% probability level. Soil density increased in the superficial layers 0.00 to 0.10 m and decreased in the deeper layers 0.10 to 0.20 and 0.20 to 0.40 m, probably result of the superficial compaction caused by the agricultural implements used in the planting and the introduction of the tree component. It is suggested that future analyzes be carried out with other indicators of soil physical quality, with the effect of the implementation over the years and the relation between them. The resistance to penetration presented an inverse relationship with moisture. The resistance to penetration showed that it was more sensitive in the identification of soil compaction than soil density.

**KEYWORDS:** Soil compaction, physical quality indicators, integration system.

# 1 INTRODUÇÃO

Devido à expansão no Cerrado da fronteira agrícola e produção pecuária propícia na década de 1970 (PERON e EVANGELISTA, 2004), a pressão exercida por essas atividades comprometeu a capacidade de produção em função do manejo inadequado do solo (MAGALHÃES et al., 2001). O Cerrado é considerado o bioma com a maior produção agropecuária do País, ocupa 203,4 milhões de hectares do território brasileiro, porém 173 municípios do Cerrado brasileiro estão com mais de 50% de suas pastagens cultivadas em algum estágio de degradação (ANDRADE et al., 2017).

A agricultura convencional com uso contínuo do solo e a extensão de áreas de pastagens degradadas são problemáticas para a questão atual da produção sustentável agropecuária (MACEDO, 2009). O regresso desse cenário tem sido observado com a utilização de tecnologias como o Sistema Plantio Direto (SPD) e Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA), proporcionando benefícios recíprocos a lavoura e pecuária, reduzindo as causas da degradação química, física e biológica do solo (BALBINO et al., 2012; MACEDO, 2009).

Um solo com qualidade física tem um ambiente que proporciona à planta sustentação mecânica, desenvolvimento adequado para sua raiz e condições favoráveis de assimilação de água, ar e nutrientes (OLIVEIRA et al., 2017). Nenhum indicador, individualmente, conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo, pois é necessário haver relação entre eles (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007; CARNEIRO et al., 2009). Para a avaliação de compactação do solo os atributos mais desejáveis como indicadores são aqueles mais sensíveis ao manejo do solo e entre os mais utilizados destacam-se a densidade do solo, porosidade total, taxa de infiltração de água e resistência à penetração (BOTTEGA et al., 2011; LANZANOVA et al., 2007; MAGALHÃES et al., 2001; NASCIMENTO, 2017;).

Bottega et al. (2011) afirmaram que a qualidade física do solo (QFS) influencia diretamente na produtividade final da lavoura, portanto, considera imprescindível dedicar atenção aos indicadores físicos da qualidade do solo. Geralmente as determinações e avaliações são mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo (LANZANOVA et al., 2007), efeito direto da desestruturação e desagregação do solo (MAGALHÃES et al., 2001).

Este trabalho trata-se de um sistema integrado de produção agropecuária, entretanto a implantação é feita gradativamente, sendo assim, posteriormente os animais de médio porte (ovinos) obterão acesso para pastejo na área, atualmente a forragem coletada e fornecida aos animais no curral em forma de feno, silagem ou ainda na forma natural.

O experimento foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL), a fim de recuperar uma área em considerável estágio de degradação e mensurar as modificações nas propriedades físicas do solo durante os anos avaliados e em diferentes profundidades.

Diante dessas considerações, o objetivo deste trabalho foi avaliar os indicadores da qualidade física do solo (densidade do solo e resistência à penetração) com a implantação do sistema integrado de produção agropecuária.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO.**

Segundo Carvalho et al. (2014) o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) é uma proposta para padronizar os termos e definições na literatura científica. Garantindo clareza na comunicação nacional e internacional. A SIPA abrange todas as definições dos sistemas integrados de produção. Em destaque está integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com definições e conceitos mais abrangentes, pois integra diferentes meios de produção, agrícolas, pecuários e florestais dentro de uma mesma área (BALBINO et al., 2011a). Também é usualmente definido como sistemas agroflorestais por Medrado (2000).

Diante disso há infindas perspectivas de arranjos entre os componentes da ILPF (BALBINO et al., 2012). Os sistemas de produção de integração resultantes desses arranjos se dividem em quatro possíveis modalidades: Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou sistema agropastoril; Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou sistema silvipastoril; Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou sistema silviagrícola; e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou sistema agrossilvipastoril (BALBINO et al., 2011b).

A ILPF é uma alternativa para o defasado modelo padrão de monocultura. Diante desse impasse de produzir de forma sustentável, devido à alta procura de alimentos relacionada ao crescimento significativo da humanidade, a adoção deste sistema integrado de produção é uma solução viável para o equilíbrio entre intensificar o uso da terra e preservar o meio natural (CORDEIRO et al., 2015a).

Segundo Kluthcouski e Stone (2003) a ILPF está diretamente relacionada com a produção sustentável ocasionando um progresso indispensável atualmente. Possibilita vantagens mútuas, tanto à lavoura quanto à pecuária e floresta. Sua adoção reduz as fontes da degradação física, química e biológica do solo (apud, BALBINO et al., 2012).

Atualmente, as ações de conservação do solo e da água levam o ecossistema agrícola a ser não apenas um provedor de alimentos e fibras para gerar, de modo sustentável, renda ao produtor e segurança alimentar, mas também a ser um provedor de serviços ambientais (CORDEIRO et al., 2015b). Com a implantação do sistema de ILPF ocorre maior diversificação e intensidade dos efeitos sinérgicos (CORDEIRO et al., 2015a) ou seja, benefícios tecnológicos; ecológicos e ambientais; econômicos e sociais (BALBINO et al.,

2011b). Entre os principais benefícios está o aumento da matéria orgânica do solo; bem-estar e alta produtividade animal com o fornecimento de conforto térmico; recuperação de áreas com pastagens degradadas, reduzindo a pressão para abertura de novas áreas; redução do uso de agroquímicos, doenças e plantas daninhas em razão da quebra dos ciclos de pragas; diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE); aumento do sequestro de carbono; aumento da ciclagem e da eficiência na utilização dos nutrientes; redução ou amortização dos custos de produção das atividades agrícola, pecuária e florestal ao longo do tempo; diminuição a ociosidade do uso das áreas agrícolas; diversificação da produção e estabilização da renda na propriedade rural (CORDEIRO et al., 2015a).

Por todos esses aspectos e pelo fato que, com a adoção dos sistemas em integração, é possível ampliar o aproveitamento dos fatores de produção e a oferta ambiental das áreas agrícolas entre 90% e 100% do tempo, pode-se concluir que tais sistemas se caracterizam como estratégias eficientes de intensificação sustentável do uso dos solos nas regiões tropicais (CORDEIRO et al., 2015b). De fato há diferentes tipos de modalidades e arranjos para os integrantes da ILPF, consequentemente para isso facilitou a expansão da evolução da pesquisa científica e a rápida adoção por parte dos produtores, considerando resultados promissores mesmo diante da complexidade da implantação e de arranjos produtivos (BEHLING et al., 2013). Quando se fala na expansão da evolução da pesquisa científica, considera que o conhecimento de suas propriedades evolui conforme o conhecimento humano, considerando que os sistemas integrados são tão antigos quanto à domesticação das plantas e dos animais (CARVALHO et al., 2014).

Dado que a melhoria da qualidade do solo é proporcionada pela ação das raízes das forrageiras nos sistemas de integração, melhora também a estrutura do solo e provoca efeito positivo sobre a qualidade biológica do solo (MACEDO, 2009). Os sistemas de integração possibilitam ter o solo coberto com plantas vivas na maior parte do ano. A rotação com pastagens em solos agrícolas é outro princípio que deve ser considerado para o manejo sustentável por causa do papel fundamental do sistema radicular agressivo e abundante, característico das espécies forrageiras tropicais, as quais promovem significativo incremento dos teores de carbono e de matéria orgânica do solo, consequentemente com melhoria da qualidade química, física e biológica desses solos (CORDEIRO et al., 2015b).

## **2.2 *PANICUM MAXIMUM* CV. MASSAI, GLIRICÍDIA (*GLIRICIDIA SEPIUM*) E MILHO (*ZEA MAYS*).**

A degradação das pastagens ocorre por diversas causas, em destaque está o manejo inadequado da pastagem (MACEDO et al., 2000). A produção sustentável da pecuária no cerrado é comprometida diante desse impasse (MACEDO E ZIMMER, 2007). Macedo et al. (2000) descrevem a degradação de pastagens como ‘um processo evolutivo da perda do vigor, produtividade e da capacidade de recuperação natural das pastagens, o que interfere no desempenho animal e na produção, diante da escassez dos recursos naturais disponíveis em razão de manejos inadequados’.

Há várias atribuições das pastagens na recuperação de áreas degradadas com a implantação da ILPF. Como exemplo, atribui na ciclagem de nutrientes, serve de alimento para o gado e é fonte indireta de produtos de origem animal (SANTOS et al., 2011b). Para isso, é necessária que a degradação seja revertida e volte a garantir a produtividade e a viabilidade econômica da pecuária (MACEDO et al., 2000).

Massai é uma das cultivares de *Panicum maximum* indicada para integrar os sistemas de ILPF. Essa cultivar confere os melhores ganhos de peso animal em virtude da boa produção em pastagens (MACEDO et al., 2014) e qualidade da forragem. (SANTOS et al., 2011b).

A escolha das forrageiras leva em consideração a preferência dos animais, as condições do sistema e de manejo, para que as pastagens possam expressar ao máximo o seu potencial de produção (SANTOS et al., 2011b). Quando o objetivo é a formação de pasto para animais de médio porte, especialmente os ovinos, as forrageiras mais indicadas são os capins ‘Massai’ e ‘Aruana’ (CORDEIRO et al., 2015a).

A cultivar Massai é um híbrido espontâneo entre *Panicum maximum* e *Panicum infestum*. Dentre os Panicuns é considerada a cultivar mais rústica, apresenta facilidade no manejo e tem boa cobertura do solo (GONÇALVES et al, 2013). Massai possui desenvolvimento satisfatório, notável crescimento mesmo em nível inferior de fósforo necessário, resistência a pragas e boa produção sob pastejo (COMUNICADO TÉCNICO, 2001).

Marchão et al. (2007) e Santos et al. (2011a) constataram que as espécies de *Panicum maximum* por apresentarem hábito de crescimento cespitoso podem favorecer a compactação do solo por conta do aumento de solo descoberto entre touceiras, consequentemente o aumento da densidade do solo.



A leguminosa gliricídia (*Gliricidia sepium*) é um componente florestal indicado para formar o sistema integrado de produção. É uma espécie de forrageiras arbóreas tropical de tamanho médio que em consórcio com gramíneas promove melhoria das características químicas, físicas e biológicas dos solos (RANGEL et al., 2010) além de melhorar a qualidade da silagem para os animais (MASSAFERA et al., 2015).

Oyedele et al. (2009) destaca que utilização de espécies arbóreas promove um adicional, visto que enquanto gramíneas e leguminosas secam durante a estiagem, as arbóreas retêm suas folhas. Além disso, a escolha das espécies arbóreas para integrar o sistema de produção, leva em consideração a capacidade de suportar o estresse ambiental e potencial de adaptação e desenvolvimento.

O milho (*Zea mays*) se destaca como potencial consórcio no sistema integrado de produção agropecuária conciliando máxima produtividade animal e de grãos dentro de um mesmo ano. Assim a escolha da cultura leva em consideração a adaptação à região e suas inúmeras aplicações sejam na alimentação humana ou animal (SANDINI et al., 2011).

Albuquerque et al. (2001) afirma que a cultura do milho é bastante sensível a compactação, visto que ocorre redução da produtividade das culturas em solos compactados. O crescimento das plantas é comprometido quando há redução no suprimento de água e nutrientes, fato observado quando as raízes desenvolvem-se acima da camada compactada e, principalmente, quando as condições climáticas são desfavoráveis.

O milho sendo uma gramínea possui relação C/N superior às leguminosas. Dessa forma, permanece sobre a superfície do solo por um período mais longo por sua palhada possuir uma velocidade de decomposição mais lenta, protegendo o solo da compactação e consequentemente da redução da sua capacidade produtiva. Assim, o milho como cultura sucessora a pastagem ocupada por ovinos, poderia proporcionar alta produtividade animal e vegetal, bem como a alta relação C/N possibilitaria a manutenção do sistema integrado a médio e longo prazo (SANDINI et al., 2011).

## **2.3 INDICADORES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.**

O cenário atual de degradação das pastagens localizadas no cerrado destaca que mais da metade apresentam algum estágio de degradação (ANDRADE et al., 2017) frente ao manejo inadequado do solo. No Brasil as principais causas de degradação das pastagens estão

relacionadas com o excesso de lotação e a falta de reposição de nutrientes (MACEDO et al., 2014). Em consequência disso é demasiada a pressão para abertura de novas áreas de produção no Brasil. A constância da fertilidade no solo garante resistência das pastagens, entretanto a degradação aumenta conforme diminui a produtividade do solo, levando a área a perder sua capacidade de suporte (PEREIRA et al., 2013). Mais grave ainda as consequências da degradação das pastagens acarretam grandes impactos na degradação ambiental, com efeitos nos recursos hídricos, e agravamento das emissões dos GEE (MACEDO et al., 2014).

Diante desse cenário a implantação do sistema de ILPF em uma área com estágio de degradação avançado confere várias vantagens para reverter o processo de degradação e melhorar a qualidade física do solo (QFS). Segundo Marchão et al. (2007) a adoção de pastagens perenes, gramíneas e ou leguminosas em um sistema de ILPF pode melhorar os atributos físicos do solo como também disponibilizar um ambiente favorável às culturas que serão implantadas na rotação. Gerando assim um ambiente propício para o crescimento e estabelecimento dos integrantes da ILPF viabilizando um solo com qualidade física que permite a planta condições ideal para seu desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2017). Balbino et al. (2011a) descrevem que as diferentes interações (culturas e animais), as diversas práticas e tempo de implantação, torna a ILPF um sistema dinâmico e complexo. Nesse caso ocorrem divergências nos estudos relacionados à degradação física e seus reais impactos na implantação dos sistemas (OLIVEIRA et al., 2017).

Quando o interesse é avaliar os impactos da implantação que um sistema ILPF proporciona ao solo, existem consideráveis indicadores da qualidade física do solo, entretanto vale destacar os mais utilizados, sendo eles a densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total, distribuição das partículas, intervalo hídrico ótimo, resistência do solo à penetração ( $R_p$ ), entre outros (BALBINO et al., 2011a; MARCHÃO et al., 2007; ALVES et al., 2017; BOTTEGA et al., 2011).

É necessário levar em consideração a importância de determinar os níveis de densidade do solo, pois para que a planta possa se desenvolver sem nenhuma dificuldade esses níveis não podem ser elevados. Quanto maior a determinação dos valores da densidade do solo, maior a degradação e compactação, conseqüentemente, redução da penetração da água e raízes no solo (SILVA et al., 2015). Considerando que a variação da densidade do solo está relacionada com a textura do solo, constata-se que quanto mais argiloso o solo, menor sua densidade em comparação com solos arenosos. O intenso tráfego de máquinas agrícolas e o pisoteio animal

nas áreas de implantação da ILPF aumenta os níveis de densidade nas primeiras camadas provocando assim uma compactação nas superfícies (SANTOS et al., 2011a; MAGALHÃES et al., 2001; LANZANOVA et al., 2007). Entretanto essa resultante não interfere negativamente nos atributos físicos do solo, pois o impacto tende a não se propagar em profundidade, sendo limitante a camada de 0,00 – 0,05 cm (MARCHÃO et al., 2007).

Quando se compara os níveis da densidade do solo da introdução de manejos de pastagens em relação a antecedente condição do solo é comum evidenciar redução na qualidade física, devido à correlação da densidade do solo com a textura que interfere na avaliação do grau de compactação (ALVES et al., 2017; SANTOS et al., 2011a). A demonstração de compactação superficial é comum com a implantação de um sistema de ILPF, porém pode ocorrer compactação subsuperficial mesmo que atípico, sendo esta relacionada com a quantidade de raízes que proporciona aumento da porosidade superficial do solo (OLIVEIRA et al., 2017). Independente dos níveis da densidade do solo apresentarem ou não compactação com a implantação de ILPF, esse indicador isoladamente não pode classificar a qualidade física de um solo, sendo necessário haver relação com outros indicadores (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007; CARNEIRO et al., 2009).

Por isso, os estudos que envolvem a qualidade física de um solo avaliam não exclusivamente um atributo de indicador de compactação, mas a relação entre eles, sendo assim outro indicador comum é a resistência do solo à penetração ( $R_p$ ). Seus atributos apontam a capacidade de suporte do solo no crescimento radicular e na produtividade das culturas (OYEDELE et al., 2009), ou seja, quanto maior a resistência do solo à penetração menor o desenvolvimento das raízes (MAGALHÃES et al., 2001). A densidade do solo apresenta relação positiva com a resistência à penetração (ALVES et al., 2017) que por sua vez é influenciada pela umidade e textura do solo (REICHERT et al., 2009; STEFANOSKI et al., 2013). O manuseio inadequado do penetrômetro realizado pelo operador tende a colaborar negativamente na determinação dos níveis da  $R_p$ , pois o operador pode involuntariamente alterar os resultados (TORRES E SARAIVA, 1999). Em relação ao manejo da área de ILPF a influencia dos valores da  $R_p$  aumentam consideravelmente quando associados com a alta densidade de lotação animal, que por sua vez eleva a compactação superficial com o pisoteio dos animais (MARCHÃO et al., 2007; LANZANOVA et al., 2007).

Ao analisar os efeitos da ILPF com plantio direto nas propriedades físicas do solo é evidente o aumento da resistência à penetração nas camadas superficiais e sua relação direta

com a densidade do solo, diante disso vale observar que a determinação da macroporosidade tem relação inversa com a densidade do solo e resistência à penetração (ALBUQUERQUE et al., 2001).

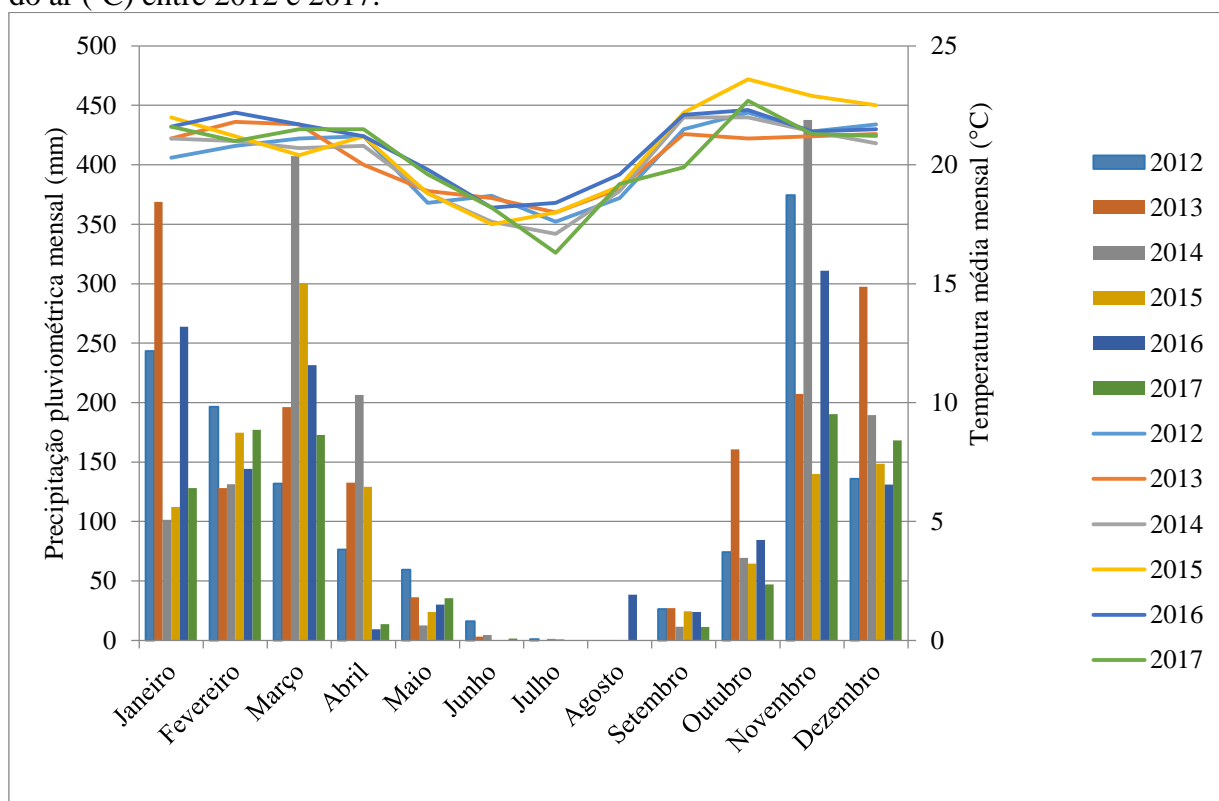
Considera-se que a produtividade de um cultivo está diretamente ligada com as condições físicas do solo durante a implantação e desenvolvimento da cultura sendo assim é importante observar e referenciar a umidade do solo na coleta de dados de resistência à penetração no campo, obtendo assim dados mais precisos e corrigidos. Logo é evidente que solos mais úmidos tende a favorecer a entrada do penetrômetro no solo, corroborando com a interpretação errônea dos dados. As variações dos níveis da  $R_p$  podem se apresentar desuniforme decorrente do manejo inadequado de tráfego das máquinas acima da faixa friável adequada para as realizações das operações agrícolas (MAGALHÃES et al., 2001; BOTTEGA et al., 2011).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO DA ÁREA

O experimento de campo foi instalado na Fazenda Experimental Água Limpa (FAL), da Universidade de Brasília, localizada em Vargem Bonita, Brasília, Distrito Federal, Brasil (latitude 15° 56' 40" S, longitude 47° 55' 43" W e altitude de 1.090 m). A média anual de precipitação pluviométrica da área de 2012 a 2017 é de 1.300 mm, concentradas entre outubro e abril conforme são apresentados na Figura 1. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, a região apresenta clima tipo Cwa (clima subtropical húmido com inverno seco e verão quente) temperatura média do ar no mês mais quente > 22°C e temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C com estações bem definidas de verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. A temperatura média mensal varia entre 16,3°C a 23,6°C.

**FIGURA 1.** Índices de precipitação pluviométrica mensal (mm) e temperatura média mensal do ar (°C) entre 2012 e 2017.



Fonte: Estação meteorológica da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (FAL - UNB), Vargem Bonita, Brasília - DF.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho de acordo com a Classificação do solo (EMBRAPA, 2013). A área experimental foi delimitada em aproximadamente um hectare no ano de 2012, onde apresentava estágios avançados de degradação. Nesse mesmo ano em Outubro, foi feita a análise de solo, o qual apresentava as seguintes características químicas e físicas (Tabela 1).

**TABELA 1:** Caracterização das propriedades químicas e físicas antes da implantação do experimento.

| CARACTERÍSTICA                           | ANO 0 |
|--|-------|
| pH H <sub>2</sub> O                      | 5,2   |
| P-Mehlich (mg dm <sup>-3</sup> )         | 1,35  |
| K-Mehlich (mg dm <sup>-3</sup> )         | 19    |
| Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 2,56  |
| Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 0,97  |
| Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 0,09  |
| Soma de Bases (SB)                       | 3,58  |
| Saturação de Bases (V%)                  | 42,7  |
| Saturação de Alumínio (m%)               | 2,5   |
| Areia (g kg <sup>-1</sup> )              | 45    |
| Silte (g kg <sup>-1</sup> )              | 360   |
| Argila (g kg <sup>-1</sup> )             | 595   |

Em dezembro antes do estabelecimento do sistema de ILPF, a área foi adubada de acordo com análise química do solo com o propósito de aumentar a saturação por base para 50%, foram preparados mediante aração, gradagem e incorporação de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 100%) e fertilizado com 87 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

No início do ano de 2013 foi realizado o plantio direto do milho (híbrido Agrocere AG1051) com espaçamento de 0,9 m entre linhas, totalizando aproximadamente 60.000 plantas ha<sup>-1</sup> (5.4 plantas m<sup>-1</sup>). A composição da adubação de semeadura deu-se pela combinação de 335 kg do formulado 04-30-16 + 15 kg de uréia + 50 kg de cloreto de potássio. O milho foi fertilizado de acordo aos requisitos específicos de culturas com base na análise química do solo, para as safras seguintes, foram repetidos os mesmos procedimentos para correção do solo, adubação e condução das culturas.

No dia posterior a semeadura do milho, ocorreu a semeadura da cultura de cobertura – capim perene – *Panicum maximum* cv. Massai a uma taxa de semeadura de 10kg ha<sup>-1</sup>

(considerando a porcentagem de sementes vivas puras) e no primeiro mês do segundo semestre de 2013 decorreu a colheita do Milho + *P. maximum* cv. Massai.

Durante o crescimento do milho o controle de gramíneas durante os anos seguintes do experimento fez-se por capina manual ou uso de doses reduzidas de herbicidas Paraquat e / (300 g ha<sup>-1</sup>). A aplicação de herbicidas em doses completas sucedia localmente quando manifestavam nas parcelas outros tipos de gramíneas que não as de interesse do experimento.

A integração do componente florestal se deu pela introdução da leguminosa gliricídia (*Gliricidia sepium*) em dezembro de 2014 com espaçamento de 5m entre blocos e 1,5m entre as árvores, totalizando 1333 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 2).

**FIGURA 2.** Consórcio de milho (*Zea Mays*) com a forrageira *Panicum maximum* cv. Massai e leguminosa gliricídia (*Gliricidia sepium*).



Fonte: Moreira (2016).

### 3.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE SOLO

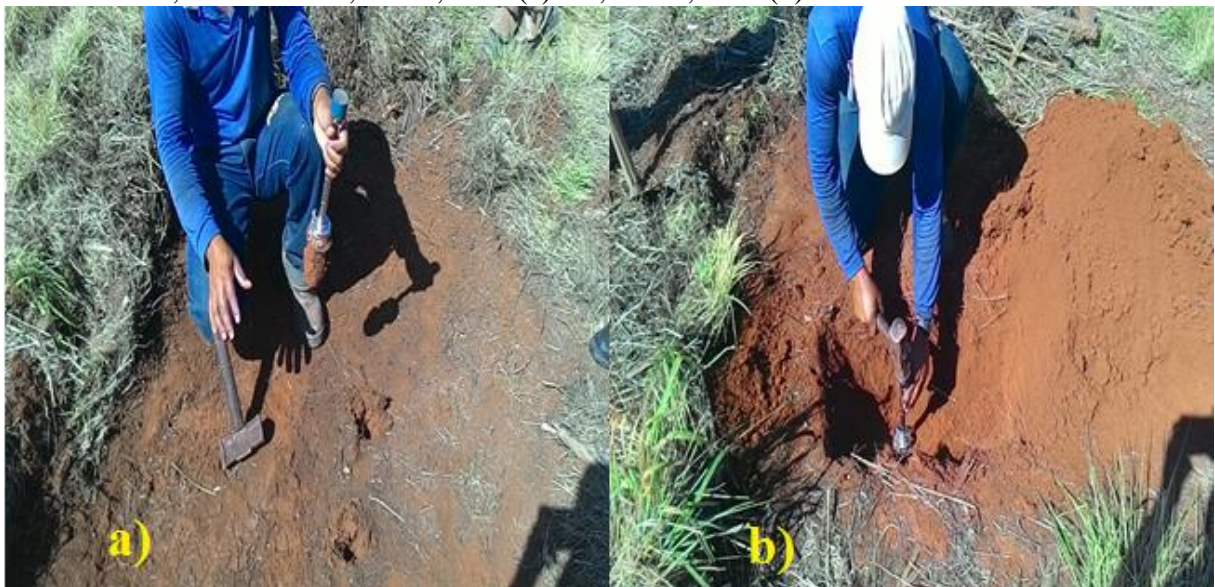
O experimento foi instalado em arranjo de parcelas subdivididas, em delineamento de blocos casualizados, com cinco repetições. As amostragens foram realizadas em 12/2012 – A1, 06/2014 – A2, 12/2015 – A3 e 05/2017 – A4.



Para a determinação da densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas em cada ano do experimento (Figura 3). Aleatoriamente foi aberta uma trincheira em cinco blocos para coleta de amostras indeformadas em três camadas (0,00 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40m). Foram coletadas duas amostras de solo em cada camada de cada trincheira, em anéis volumétricos 5 cm x 5 cm ( $\sim 98,175 \text{ cm}^3$ ), gerando um total de 30 amostras em cada ano (3 camadas x 2 amostras x 5 blocos).

As amostras indeformadas foram coletadas conforme descrito por Donagema et al. (2011) em anel ou cilindro volumétrico, de bordas cortantes e volume interno conhecido, utilizando trado Uhland.

**FIGURA 3.** Coleta das amostras indeformadas em anel ou cilindro volumétrico utilizando o trado Uhland, camada de 0,00 – 0,10 m (a) e 0,10 – 0,20 m (b).



O trado foi cravado na superfície do solo (Figura 3), em seguida removido com cuidado, o excesso de terra foi retirado com auxílio de uma faca cortante, até igualar com ambas as superfícies do anel, tampas de plásticos foram colocadas em ambas às superfícies para que não houvesse perda de amostra.

Logo em seguida em recipiente adequado as amostras coletadas no campo foram levadas para análise em laboratório. No laboratório as tampas de plásticos foram removidas e o cilindro colocado em uma tampa circular de aço sem que houvesse perda e amostra. Foram pesadas todas as amostras, depois deslocadas para a estufa a 105 °C, (cilindro + tampa + solo úmido), depois de 24 a 48 horas na estufa as amostras foram retidas e pesadas novamente



(cilindro + tampa + solo seco). Todos os anéis e tampas foram pesados para obter o valor do solo seco.

A densidade do solo é definida como sendo a relação existente entre quantidade de massa de uma amostra de solo seca por unidade de volume do solo (Equação 1). No volume do solo é incluído o volume de sólidos e o de poros do solo. Sendo assim utilizou-se da Equação 1:

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V}$$

Ds: Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ );

Mss: Massa do solo seco (g) e

V: Volume do solo ( $\text{cm}^3$ ).

A resistência mecânica à penetração ( $R_p$ ) foi determinada utilizando um penetrômetro (Figura 4), em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições e oito medições em cada camada 0,00 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40m. Totalizando 120 dados por ano e 480 dados durante a avaliação.

**FIGURA 4.** Penetrômetro manual para solos.



Fonte: <https://www.mecanicaindustrial.com.br>.

Para a determinação da umidade do solo com base em massa seca, das amostras coletadas, utilizou-se da Equação 2:

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100$$

U: Umidade do solo a base de massa (%);

Mu: Massa do solo úmido (g) e

Ms: massa de solo seco (g).

Os dados da densidade do solo e resistência à penetração foram submetidos à análise variância, pelo teste de F, ao nível de 5% de probabilidade. As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados da resistência à penetração e umidade do solo com base em massa seca foram tabelados e analisados pelo gráfico de dispersão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo (Ds) apresentou diferença significativa na camada de 0,0-0,10 m no A3, e na camada de 0,10 – 0,20 m no A2, sendo estas as maiores densidades de solo observadas nas respectivas profundidades (Tabela 2). O aumento da densidade do solo nas camadas superficiais, geralmente, são afetadas pelo manejo das pastagens, proporcionando ao solo redução da qualidade física (ALVES et al., 2017), evidenciando compactação superficial do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas (ALBUQUERQUE et al., 2001; REICHERT et al., 2007; MAGALHÃES et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2017). Essa diferença será mais evidente, quando for implantada a outra fase do experimento, apesar de ser considerado um sistema integrado de produção agropecuária, não há pastejo na área, sendo este posteriormente introduzido. O efeito benéfico de não haver pastejo na área pode ser observado no A4, onde as camadas não diferiram estatisticamente entre camadas.

**TABELA 2.** Valores médios da Densidade do solo (Ds) em g cm<sup>-3</sup>. <sup>(1)</sup>

| Camada (m)         | A1          | A2          | A3          | A4          |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>0,00 – 0,10</b> | 0,877238 aB | 0,910822 aB | 1,052822 bB | 0,852390 aA |
| <b>0,10 – 0,20</b> | 0,798464 aA | 0,935170 bB | 0,843466 aA | 0,850950 aA |
| <b>0,20 – 0,40</b> | 0,756112 aA | 0,831172 aA | 0,792298 aA | 0,796780 aA |

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas linhas e maiúscula nas colunas, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-knott (1974), a 5% de probabilidade.

A tabela 2 mostra redução do valor da densidade nas camadas mais profundas do experimento, exceto no A2, que divergiu esse comportamento. Na camada de 0,10 – 0,20m houve aumento do valor da densidade, porém não diferiu significativamente da camada 0,0 – 0,10 m. Não houve diferença estatística durante os cinco anos da implantação na camada de 0,20 – 0,40 cm, evidenciando que o experimento não alterou significativamente as camadas mais profundas da área.

Todos os dados da resistência à penetração do solo (Rp) demonstraram diferenças quando comparados entre os anos (Tabela 3), entretanto se analisarmos cada ano separadamente, podemos observar que eles variam conjuntamente dentro de uma mesma margem (Figura 5).

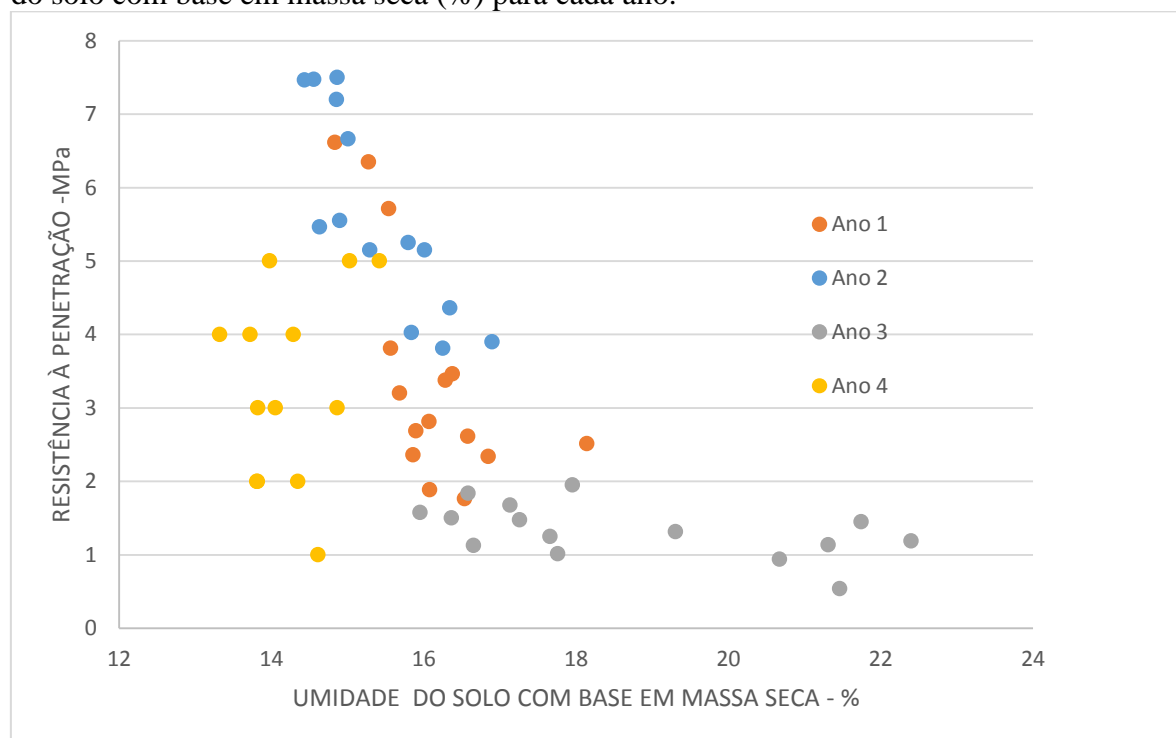
**TABELA 3.** Valores médios da Resistência à penetração (Rp) em MPa. <sup>(1)</sup>

| Camada (m)  | A1      | A2      | A3      | A4      |
|-------------|---------|---------|---------|---------|
| 0,00 – 0,10 | 4,91bB  | 4,48 bA | 1,05 aA | 6,31 cA |
| 0,10 – 0,20 | 2,86 bA | 5,95 cB | 1,33 aA | 6,90 cA |
| 0,20 – 0,40 | 2,52 aA | 6,47 bB | 1,62 aA | 7,44 bA |

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras diferentes minúsculas nas linhas e maiúscula nas colunas, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-knott (1974), a 5% de probabilidade.

É perceptível que a não homogeneidade dos dados da resistência à penetração observada entre os anos é atribuída à variável umidade do solo (Figura 6) (LANZANOVA et al., 2007; STEFANOSKI et al., 2013).

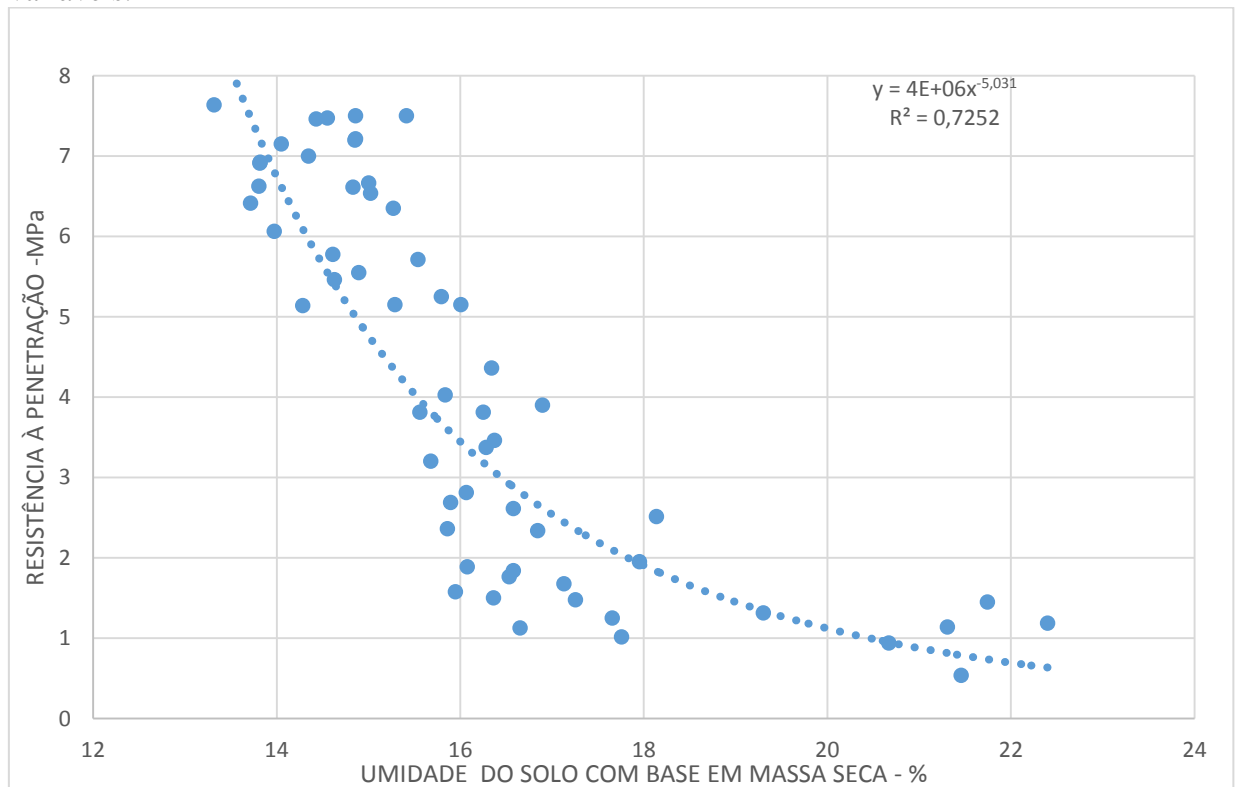
**FIGURA 5.** Diagrama de dispersão da resistência à penetração (MPa) em relação a umidade do solo com base em massa seca (%) para cada ano.



Para a interpretação dos resultados é necessária atenção, pois os valores da resistência à penetração são influenciados pelos atributos do solo (textura, umidade e densidade) (REICHERT et al., 2007; STEFANOSKI et al., 2013; LANZANOVA et al., 2007), sendo

assim complexo estabelecer limites fixos para valores de resistência à penetração prejudicial ao desenvolvimento das plantas (TORRES e SARAIVA, 1999) e até determinar o valor crítico para o crescimento radicular, sendo este dependente ainda da espécie cultivada (SILVA et al., 2012).

**FIGURA 6.** Diagrama de dispersão da resistência à penetração (MPa) e a umidade do solo com base em massa seca (%) com a linha que melhor aproxima a relação entre as duas variáveis.



O A3 apresentou a menor resistência do solo à penetração, decorrente da alta umidade no solo, mesmo que a coleta tenha sido realizada em dias mais secos do mês de dezembro, o solo por sua vez provavelmente se encontrava úmido, pois dezembro é uns dos meses com maior índice pluviométrico e essa afirmação é evidente quando se observa a maior índice de umidade do solo quando comparado com os outros anos (Figura 6).

Deve-se ter cuidado especial no manejo do solo em sistema integrado de produção agropecuária sob sistema plantio direto, para que os atributos físicos do solo não sejam alterados para condição inferior de qualidade (LANZANOVA et al., 2007).

Por fim analisados integradamente, os resultados das tabelas 2 e 3 de densidade do solo e resistência demonstram, aparentemente, que a  $R_p$  parece ser mais sensível na detecção da compactação do que a  $D_s$  (ABREU et al., 2004).

A resistência do solo à penetração apresentou relação inversa com a umidade, evidenciando relação inversamente proporcional aos valores de resistência à penetração obtidos em condições de campo (MARCHÃO et al., 2007).

## **5 CONCLUSÕES**

A densidade do solo aumentou nas camadas superficiais e diminuiu nas camadas mais profundas, provavelmente resultado da compactação superficial causados pelos implementos agrícolas utilizados no plantio e na introdução do componente arbóreo.

A resistência à penetração apresentou relação inversa com a umidade. A resistência à penetração demonstrou, aparentemente que foi mais sensível na identificação da compactação do solo que a densidade do solo.

Sugere-se que sejam realizadas futuras análises com outros indicadores da qualidade física do solo, com maior efeito da implantação ao longo dos anos e a relação entre eles.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.28, p.519-531, 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária, nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.25 p.717-723, 2001.

ALVES, A. R.; RIBON, A. A.; BACKES, C.; FERNANDES, K. L.; SANTOS, A. J. M.; BARROS, L. R. Physical indicators of a dystrophic cohesive Yellow Latosol in systems integration in the cerrado region. **Revista Espacios**, v.38 n.16, p.3, 2017.

ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S.F. Avaliação das condições de pastagens no Cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. **R. Bras. de Agropecuária Sustentável (RBRAS)**, v.7, n.1, p.34 – 41, 2017.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J., Uberlândia**, v.23, n.3, p. 66-75, 2007.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco Referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011b. 130 p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; DA SILVA, V. P.; DE MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; DOS SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, v.46, n.10, p.i-xii, 2011a.



BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P. D.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). **Informações agronômicas**, v.138, p.1-18, 2012.

BEHLING, M.; WRUCK, F. J.; ANTONIO, D. B. A.; MENEGUCI, J. L. P.; PEDREIRA, B. C.; CARNEVALLI, R. A.; CORDEIRO, L. A. M.; GIL, J.; NETO, A. L. F.; DOMIT, L. A.; SILVA, J. F. V. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). **Embrapa Agrossilvipastoril**-Capítulo em livro científico (ALICE). Fundação MT - Boletim de Pesquisa de Soja 2013/2014 p.306-325, 2013.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; DE QUEIROZ, D. M.; DE SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p.331-336, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; DE SOUZA, E. D.; DOS REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CARVALHO, P. C. F.; DE MORAES, A.; PONTES, L. D. S.; ANGHINONI, I.; SULC, R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 (Especial), p. 1040-1046, 2014.

COMUNICADO TÉCNICO, Capim-massai (*Panicum maximum* cv. Massai): alternativa para diversificação de pastagem. **Embrapa Gado de Corte**, Campo Grande, MS, 2001.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015a. 393 p.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para

intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015b.

DONAGEMA, G. K.; DE CAMPOS, D. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. M. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Embrapa CNPS, 2<sup>o</sup> edição, Rio de Janeiro, 2011.

EMBRAPA, 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.

GONÇALVES, F. C.; MARASCA, I.; DE SOUZA, S. F. G.; TAVARES, L. A. F.; SILVA, P. R. A. Métodos de determinação da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo. e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 28, n.3, p.165-169, 2013.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.31 n.5, p.1131-1140, 2007.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MACEDO, M. C. M.; KICHEF, A. N.; ZIMMER, A. H.; MARCHÃO, R. L. **Comunicado Técnico**: Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens. Brasília, DF, Embrapa, 2000.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistemas integrados de lavoura-pecuária na região dos cerrados do Brasil. **Simpósio Internacional em Integração Lavoura-Pecuária**, 2007.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEF, A. N.; ALMEIDA, R. G.; DE ARAÚJO, A. R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de

mitigação. **Embrapa Gado de Corte - Artigo em anais de congresso (ALICE)**, p. 158-181, 2014.

MAGALHÃES, R. T; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, I. P. Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do sistema barreira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 31(1), 7-13, 2001.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; DOS SANTOS J. D. G.; DE SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.42, n.6, p.873-882, 2007.

MASSAFERA, D. A. M.; FLORENTINO, L. A.; RABELO, C. H. S.; HARTER, C. J.; REZENDE, A. V.; REIS, R. A. Replacement of aruana grass by gliricidia (*Gliricidia sepium*) on silage quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 44 (7), p. 231-239, 2015.

MEDRADO, M. J. S. **Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações**. GALVÃO, APM Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais. Brasília, p.269-312, 2000.

NASCIMENTO, D. M. D. **Qualidade física do solo sob sistemas de produção integrados-ILP e ILPF**. 2017. 46p. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

OLIVEIRA, B. D. S.; DE CARVALHO, M. A. C.; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; DALLACORT, R.; DA SILVA, V. P.; BAREA, M. Physical attributes of soil in system integration crop-livestock-forest, the Amazon region. **Revista Espacios**, v.38 n.41, p.8, 2017.

OYEDELE, D. J.; AWOTOYE, O. O.; POPOOLA, S. E. Soil physical and chemical properties under continuous maize cultivation as influenced by hedgerow trees species on an alfisol in South Western Nigeria. **African Journal of Agricultural Research**, v.4(7), p.736-739, 2009.

PEREIRA, D. N.; OLIVEIRA, T. C.; BRITO, T. E.; AGOSTINI, J. A. F.; LIMA, P. F.; SILVA, A. V.; SANTOS, C. S.; BREGAGNOLI, M. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, Edição Especial n. 1, p. 49-53, ago. 2013.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v.8, n.3, p.655-661, 2004. **Pesquisa de Solos**. Embrapa-CNPS, Rio de Janeiro, p. 230.

RANGEL, J. H. A.; MUNIZ, E. N.; DE SÁ, J. L.; DE SÁ, C. O. **Circular Técnica:** Implantação e manejo de sistema integração Lavoura/Pecuária/Floresta com *Gliricidia sepium*. Aracaju, SE, Embrapa, 2010.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ci. Solo**, 5:49-134, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research** 102, p.242–254, 2009.

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWISKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, 2011, 41.8: 1315-1322.

SANTOS G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M. G.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.46, n.10, p.1339-1348, 2011a.

SANTOS, L. O.; TOWNSEND, C. R.; PEREIRA, R. C. A.; SALMAN, A. K. D.; DOS SANTOS, M. G. R.; DE SOUZA, J. P.; CASSARO, J. D.; RIBEIRO, R. S. Características

morfogênicas e estruturais de gramíneas com potencial de uso em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em Rondônia. **Embrapa Rondônia - Artigo em anais de congresso (ALICE)**, 2011b.

SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; CAVALIERI, K. M. V.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F. M.; PARRON, L. M.; CHEROBIM, V. F.; MARIOTI, J.; NETO, H. F. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. **Embrapa Florestas - Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.

SILVA, A. R.; SILVA, L. L.; FRAZÃO, J. J.; SALGADO, F. H. M.; SILVA, M. C.; CORRECHEL, V. Resistência mecânica à penetração do solo com diferentes coberturas vegetais sob sistema. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v.22, n.2, p.x-x, 2012.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: **Circular Técnica**, 23 Embrapa Soja, p.58, 1999.